離層酸(ABA)與高粱幼苗耐冷性之關係

高小玲[1] 姚銘輝[2] 盧虎生[1] 朱 鈞[1]

[1] 國立臺灣大學農藝系

[2] 臺灣省農業試驗所農業工程系

摘 要

本試驗以不同低溫耐性的高粱品系爲材料，探討低溫與ABA處理對其生理反應之影響。試驗結果顯示，2R品系在低溫下氣孔快速關閉，葉片鮮重與水分含量均可維持，植株並無明顯枯萎的現象；而不耐低溫的80A品系，低溫處理後氣孔無法快速關閉，鮮重下降，葉片明顯脫水枯萎。此外低溫下2R品系根部活力較80A爲高，由木質部泌出液的結果也可看出低溫下2R品系根部水分傳導能力(root hydraulic conductance)較80A爲高，故仍可在低溫下維持根部吸水能力。二品系低溫處理後，ABA均有累積的現象，地上部在低溫處理24小時後開始累積，根部在6小時有一累積高峰，而後則下降，然而2R與80A二品系間，在ABA含量上並無差異。若將不耐低溫的高粱幼苗(80A)以10^{-4} M ABA前處理24小時後再進入低溫處理，可顯著減少80A幼苗低溫受害情形。80A幼苗經ABA前處理24小時後，氣孔導度與蒸散速率已明顯下降，因此再移入低溫處理時由於氣孔已經關閉，故低溫下的蒸散作用顯著減少，植株鮮重與水分含量均可維持，葉片亦無枯萎脫水現象。此外，ABA也可明顯增加根部活力與吸水能力，顯示ABA可促使80A植株在低溫下維持水分平衡，而減少低溫傷害。

關鍵詞：高粱、耐冷性、離層酸、木質部泌出液、葉片蒸散速率、根部活力。

前 言

植物自萌芽開始，經過營養生長到開花結實的生育過程中，均可能遭遇各種逆境，而溫度是影響作物生長發育的重要因子，過高或過低的溫度會嚴重影響作物的生長發育、生理代謝、品質、產量甚至造成作物的死亡(Morris, 1982)。寒害(chilling injury)通常是指0℃以上的低溫(一般爲0-15℃)對作物所造成的傷害。不耐低溫的作物遭受低溫時，常導致形態(Rikin et al., 1975)、生理代謝(Tanino et al., 1990)及基因表現的失調(Gilmour and Thomashow, 1991)等，輕則延遲生長，嚴重者將導致死亡。而

耐冷性的植物雖然在形態、生理代謝或基因表現上也發生改變，但卻可藉由適當的調控機制，包括生理上的相互調節 (Tanino et al., 1990, 1991) 與基因表現上的調控 (Luo et al., 1992；Houde et al., 1992)，而使植物增加對低溫之耐性。由此可知，探討不同低溫耐性的作物在低溫下的生理反應差異及基因表現的差別，將有助於耐冷機制的瞭解。

植物荷爾蒙乃植物體內自然產生的有機化合物，只需微量就能明顯影響植物的生長與代謝 (Thimann, 1960)，因此常被視爲一種化學訊息 (chemical messenger) (Leopold and Nooden, 1984)。植物荷爾蒙不但可以調節植物的生長與分化，在植物體對外界感應過程中也扮演相當重要的角色，於逆境與荷爾蒙的相關研究中發現，離層酸 (abscisic acid, ABA) (Eamus, and Wilson, 1983；Gau et al., 1992)、乙烯 (ethylene) (Chu and Lee, 1989) 與多元胺 (polyamines, PAs) (Kushad and Yelenosky, 1987；Chu and Lee, 1989) 等與植物對逆境的反應有顯著相關。

有關低溫與 ABA 關係之研究相當多 (姚與朱, 1992, 1993；高等，1994a, 1994b；Robertson et al.,1990；Lee et al., 1993；Xin and Li, 1993a, 1993b)。Daie and Campbell (1981) 發現在 10/5℃ 處理的番茄其自由態 (free) 與結合態 (conjugated) 的ABA 含量明顯較對照組爲高。菜豆幼苗經低溫處理 6 小時 ABA 含量即倍加，24 小時後ABA 含量較對照組增加 5 倍 (Smith and Dale, 1988)。Lalk and Dorffling (1985) 將不同凍溫抗性的小麥品種進行低溫處理，發現經 5 個星期的冷馴化後，具有凍溫抗性的小麥品種內生 ABA 含量明顯較凍溫敏感品種爲高，Heino et al. (1990) 以阿拉伯芥 ABA 缺失的突變種爲材料，證明內生 ABA 含量與阿拉伯芥凍溫抗性有明顯相關。

利用 ABA 外加處理是探討 ABA 與低溫耐性關係的途徑之一，Rikin et al. (1979) 發現噴施 ABA 於棉花葉片可減少低溫造成的傷害，降低滲漏量，Chu and Lee (1992) 發現外加 ABA 處理可以增加水稻對 5℃ 低溫環境的抵抗性。Robertson et al. (1987)；Reaney and Gusta (1989)；Lee and Chen (1993)，均發現以 75 μM ABA 處理白露草懸浮培養細胞可增加其對凍溫抗性。Xin and Li (1993a, 1993b) 發現 ABA 增加玉米懸浮培養細胞對低溫抗性可因加入 cycloheximide 而被抑制，顯然 ABA 增加低溫抗性涉及了某些特殊蛋白質的合成，而這些蛋白質與低溫有密切關係。Mohapatra et al. (1988) 於苜蓿的研究，Tseng and Li (1991) 於馬鈴薯的研究，Flanagan et al. (1987) 於油菜的研究均有相似的結果；此外 ABA 所誘導的低溫抗性與品種本身低溫反應有關，低溫能誘導凍溫抗性的植物 ABA 也具有誘導效果 (例如苜蓿、白露草、黑麥與冬小麥)，反之植物不具冷馴化能力者 ABA 也同樣無效 [例如蔓陀蘿 (*Datura innoxia*)、日日草(*Catharanthus roseus*)、大豆與蠶豆等] (Thomashow, 1990)。

低溫常導致植株的嚴重缺水而致死，然而 ABA 處理卻可以明顯改善此現象，其改善的方式乃藉由減少氣孔開度與增加根部吸水能力而達成，Eamus and Wilson (1983，1984) 發現對低溫敏感的菜豆在低溫下因氣孔無法快速關閉，根部吸水受到限制而造成葉片膨壓下降，導致脫水死亡，但施用 ABA 後可促使氣孔快速關閉，並減少低溫對根部水分傳導的傷害 (Markhart, 1984)，故可提高對低溫的耐性。Pardossi et al. (1992) 也認爲低溫下菜豆無法合成 ABA 是造成菜豆氣孔於低溫下仍然開啓，導致脫水的原因之一。

高粱 (*Sorghum bicolor* L.) 爲本省重要的

雜糧作物之一，本省高粱種植以春作與秋作爲主，春作高粱種植時期約在每年二至三月，幼苗時期的低溫與寒流(溫度常低於 10 ℃以下) 常引起寒害而影響幼苗的生長，甚至嚴重死亡，造成極大損失，因此極需瞭解高粱幼苗對低溫的感應機制，以尋求增加低溫抗性的方法。有關低溫對高粱幼苗生理反應之研究，國內外均少見，而植物荷爾蒙對高粱耐冷性之影響也鮮有報告，本研究室曾有一系列之研究，且部分結果已另文發表(姚與朱，1992, 1993；高等，1994a, 1994b；Gau et al., 1992)，本報告將探討不同耐冷性之高粱品系在低溫下的反應差異並探討植物荷爾蒙 ABA 對高粱幼苗耐冷性之影響。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗所使用的高粱品系主要爲臺中 5 號（本省栽培最廣之高粱品種）的父本 (2R) 與母本 (80A)，此二品系在 40 個品系的篩選中，爲最抗低溫(2R)與對低溫最敏感 (80A) 之品系 (高等，1994a)。將高粱種子以 1000 倍之免賴得 (臺灣杜邦公司生產) 消毒 12 小時後，以蒸餾水沖洗 3 次後平鋪於塑膠盤上，並於 37℃ 之生長箱中進行催芽，約經 36 小時，選取萌芽一致的種子置於 500 ml 燒杯內的不銹鋼網上，並於燒杯外包裹錫箔紙，以避免透光，使適合根部生長，再於燒杯內加入 1/2 強改良式木村氏水耕液 (pH=5.7) (Yoshida et al., 1976) 進行栽培，栽培環境爲 30/25℃ (日/ 夜溫) 之人工氣候室自然光玻璃室，每 4 天更換水耕液一次，待第三葉完全展開時 (約種植後 7 天) 即可進行各種處理。

二、低溫處理與 ABA 處理

低溫處理乃將三葉齡之幼苗置於 5/5℃ (日/夜溫)的生長箱中，日照強度200 μ mol $m^{-2}s^{-1}$，光照 12 小時，相對濕度爲 80 ± 5 %，對照組幼苗仍於 30/25℃(日/夜溫)之自然光玻璃室內生長。ABA 處理乃於高粱幼苗進入低溫處理前 24 小時，在水耕液中加入不同濃度的 ABA (mixed isomers，2-cis-(±) -ABA 購自 Sigma 公司)使終濃度爲 10^{-3}M，10^{-4} M，10^{-5}M，並於 30/5℃玻璃室內處理 24 小時後進行取樣，或進入 5/5℃ 低溫處理。

三、水分含量之測定

水分含量之測定乃根據 Tanino (1990) 等人的方法進行，將高粱組織 (地上部或根部) 取樣後，立刻稱取其鮮重 (fresh weight, FW) 並記錄，再將樣品於 80℃ 烘箱中烘 48 小時，稱其乾重 (dry weight, DW)記錄之，由乾重與鮮重可換算每克乾重的水分含量，計算公式如下：

Water content = (FW-DW)/DW

含水量資料的測定爲四重複，每一重複爲五株幼苗的地上部或根部。

四、電導度測定

將高粱葉片取樣後以蒸餾水洗淨剪成數段 (每一段約 1cm)，浸於 30ml 純水中 (經蒸餾、離子交換樹脂、活性碳及微孔過濾器處理之純水，電阻大約 15 m Ω)置於 25℃黑暗中 12 小時，然後以電導度測定儀(Suntex，model SC-16，Taiwan) 測定電解質滲漏量 (A)，隨後將材料連同滲漏液以 121℃ 進行高溫高壓 (121℃，1.05 kg/cm^2) 之破壞 (15 分鐘)，取出樣品，待冷卻後再測定組織細胞內全部電解質之滲漏量 (B)，將所得到的 A 值除以 B 值再乘以 100 即爲此樣品之電解質相對滲透量，電導度測定值皆爲四重複之平均值。

五、葉片氣孔導度 (leaf conductance) 及蒸散速率 (transpiration) 之測定

葉片氣孔導度及蒸散速率之測定是採用

LI-160M steady state porometer(LI-COR Inc.，Nebraska, USA) 測定完整幼苗第三片完全展開葉片，由於高粱幼苗葉片狹長因此採用的偵測器 (sensor) 爲 LI-1600-01 型的 narrow leaf operture(開口面積0.5 cm^2)，本試驗的資料皆爲六次重複所得之值。

六、Triphenyl tetrazolium chloride (TTC) 測定

TTC 活力檢定是根據 Steponkus and Lanphear (1967) 方法進行，以 TTC 的還原能力來檢定植物組織在逆境下的代謝能力大小。逢機取高粱幼苗 3 株，剪取根部稱重，記錄鮮重，將根部切成 1 cm 長度，迅速放入含有 80% TTC 之緩衝液中 (0.05 Mpotassium-phosphate buffer，pH 7.4，0.1% Tween 20)，以眞空抽氣 30 秒後回壓，再置於 30℃ 黑暗中 18 小時。倒去反應過之 TTC 緩衝液，將組織以 5 ml 之蒸餾水沖洗，共清洗 3 次，隨後加入 95% 酒精 10 ml 以抽取組織內被還原的 TTC (呈紅色)，並於 80℃ 水浴中加熱 20 分鐘，吸取溶液置於 25 ml 定量瓶中，再加入 10 ml 95% 酒精於組織中，同上在100℃ 水浴中加熱 20 分鐘，吸取溶液混合於第一次的定量瓶中，最後以 95% 酒精定量至 25 ml 混合均勻，取部分溶液以光電比色計測定 485 nm 之吸光度，若爲葉片材料由於葉綠素的干擾極大，因此吸光度的測定波長改爲 530 nm，本試驗之資料皆爲三重複，每重複爲高粱幼苗 3 株之根部材料。

七、木質部泌出液流出速率 (xylem exudation rate) 之測定

木質部泌出液流出速率之測定是依據 BassiriRad et al. (1991) 的方法並加以修飾，亦即將不同處理時間的高粱幼苗地上部切除後，將根部置於飽和濕度下，收集一小時內其導管泌出液，計算木質液體積與收集的幼苗株數，測定單位時間內每株植株根部流出液體的體積變化，試驗資料爲 100 至 200 株高粱幼苗的平均值。

八、離層酸含量之測定：

離層酸含量之測定是利用酵素結合免疫法 (enzyme-linked immunosorbent assay, 簡稱 ELISA) 測定，係根據 Walker-Simmon's (1987) 間接 ELISA 方法，並經臺大農藝系作物生理研究室修飾而成，詳見 Lee et al. (1993)。

結　　果

一、2R 與 80A 高粱品系在低溫下的反應

2R 與 80A 二個高粱品系，種子大小、色澤與植株生長形態不盡相同，2R 種子小且呈白色，80A 種子較大，色澤稍黃，2R 植株幼苗葉片細長，呈淡綠色，而 80A 幼苗粗矮，葉片呈深綠色；80A 幼苗自種植至第三葉完全展開約需 7 天，而 2R 幼苗約需 10 天。2 R 與 80A 幼苗在低溫下的表現明顯不同，由葉片水分含量與鮮重的試驗結果可看出，2R 幼苗經低溫處理後，葉片水分含量 (圖 1) 與鮮重 (圖 2) 均可維持，葉片亦無明顯枯萎或脫水，而 80A 幼苗低溫處理一天葉片就明顯脫水，低溫處理第四天，葉片水分含量 (圖 1) 與鮮重(圖 2) 均顯著下降，約僅對照組的 50% ，由於電解質滲漏量的多少與植株低溫的耐性關係密切，因此本試驗亦測定 2R 與 80A 幼苗低溫下葉片電解質滲漏量的變化，結果如圖 3 所示，2R 幼苗葉片電解質滲漏量明顯較 80A 爲低，80A 幼苗低溫處理二天，葉片電解質滲漏量約爲 2R 的二倍，而低溫處理四天葉片電解質滲漏量可高達 95% ，此時 2R 僅有50% 左右，顯示 2R 幼苗在低溫下細胞膜受害程度較 80A 爲小。

低溫下植株枯萎、脫水與葉片氣孔導度、蒸散速率及根部吸水能力有顯著相關。由圖 4 的結果可知，2R 幼苗低溫處理後氣孔可快

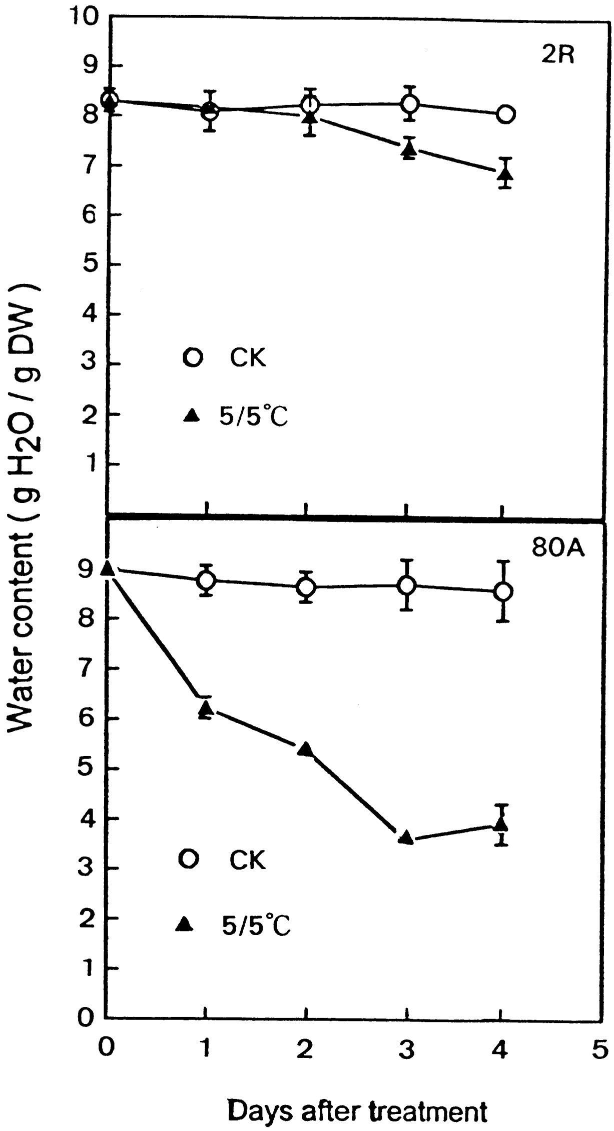

圖1. 不同品系之高粱幼苗常溫與低溫下水分含量之變化

Figure 1. Changes of water content in shoots of sorghum seedlings in response to chilling.
Bars indicate standard error of means.
Missing error bars represent that they are smaller than the label marks.

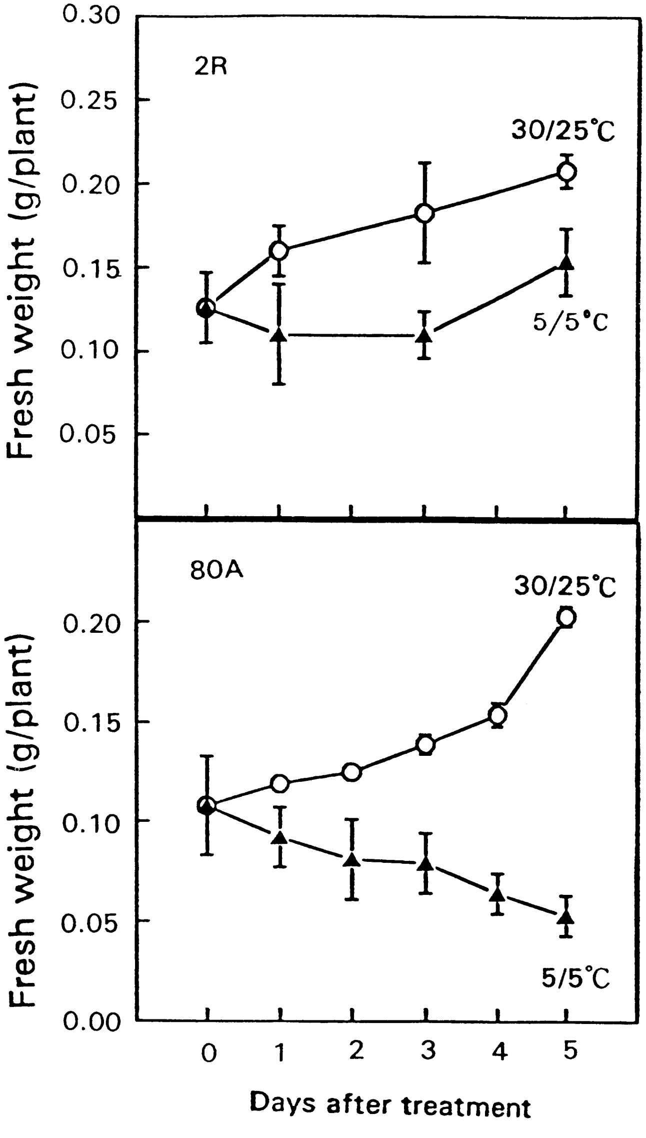

圖2. 不同品系之高粱幼苗常溫與低溫下地上部鮮重之變化

Figure 2. Changes of shoot fresh weight of sorghum seedlings in control (30/25℃) and 5/5℃ treatments. Bars indicate standard error of means.

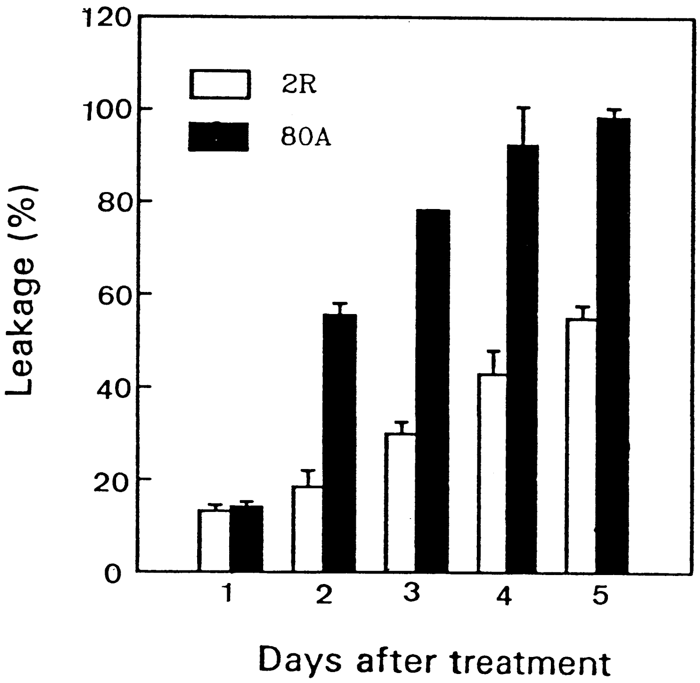

圖 3. 不同品系之高粱幼苗低溫下葉片電解質滲漏量之變化

Figure 3. Changes of electrolyte leakage of seedlingsafter 5/5℃ treatments.
Bars indicate standard error of means.

速關閉，低溫處理 3 小時氣孔導度已降至對照組的 50% ，且隨著低溫處理時間的延長，一直維持較低的氣孔導度與蒸散速率，而 80 A 幼苗進入低溫處理時，氣孔並未迅速關閉，由圖 4 的結果可看出，80A 幼苗經低溫處理3 小時氣孔導度與對照組並無差異，而隨著低溫處理時間的延長，氣孔導度與對照組的差異也不顯著。

2R 與 80A 二品系低溫下根部的活力亦不相同 (圖 5)，2R 幼苗的根部在低溫下仍可維持與對照組相當的活力，而 80A 幼苗的根部在低溫處理二天活力降至對照組的 60% ，而低溫處理四天後根部活力僅有對照組的 40% ，根部活力下降可能影響吸水能力，由圖 6 結果可知，低溫下 2R 與 80A 根部吸水能力都明顯較常溫爲低，但 2R 根部在低溫下的吸水能力仍較 80A 爲高，低溫處理 4 小時，80A 幼苗 xylem sap 的量只有 0.2 μ L/plant/h ，而 2R 仍有0.5 μ L/plant/h。低溫處理一天後，80A 幼苗木質液的量已低於 0.1 μ L/plan t/h。此時 2R 仍可維持 0.3 μ L/plant /h，由此可知 80A 幼苗在低溫下氣孔無法快速關閉，根部吸水能力下降無法提供足夠水分，此可能是 80A 幼苗在低溫下脫水、死亡的二個重要因子。

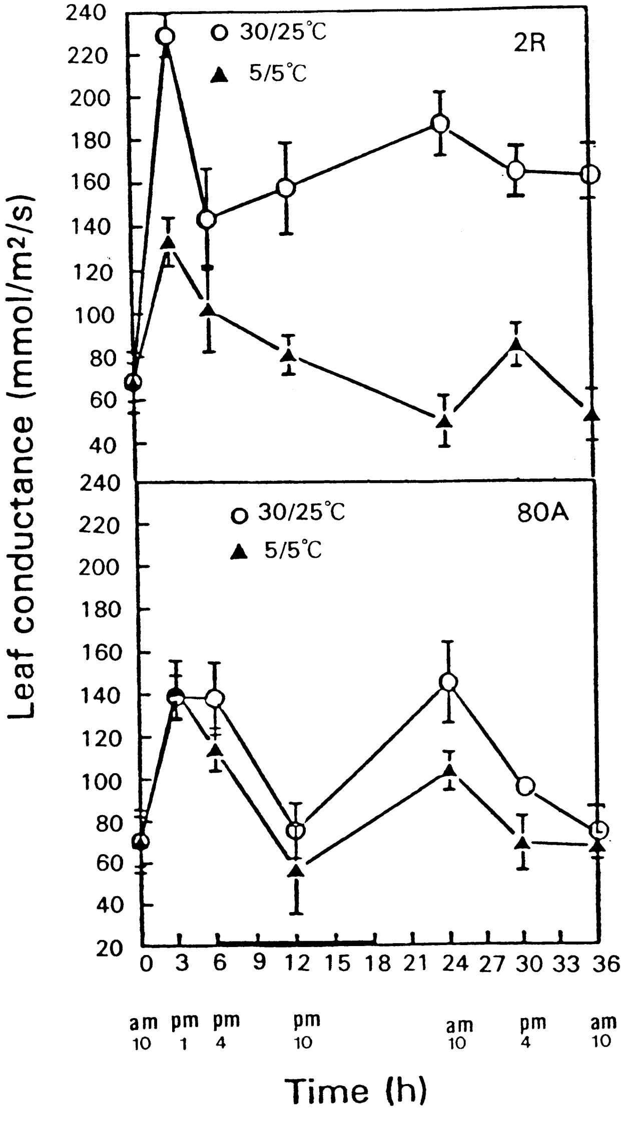

圖 4. 不同品系之高粱幼苗常溫與低溫下葉片氣孔導度之變化

Figure 4. Changes of leaf conductance in 3rd leaves of sorghum seedlings under different treatments.

Bars indicate standard error of means.

Black segment indicates the dark period.

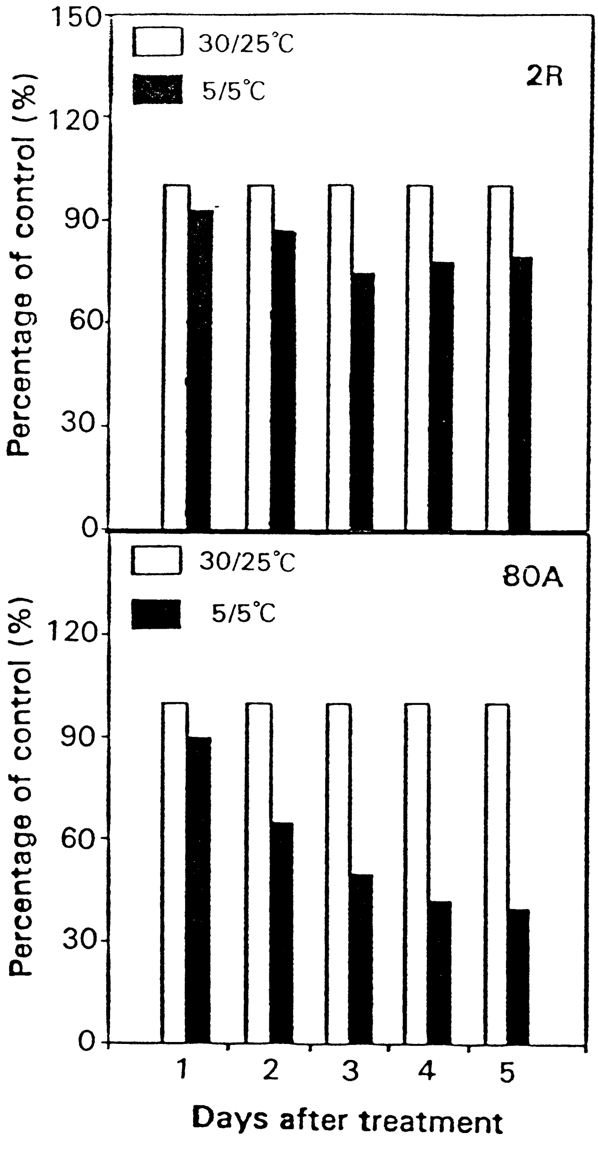

圖 5. 不同品系之高粱幼苗常溫與低溫下根部下根部 TTC 還原酵素之變化

Figure 5. Changes of root TTC reductase activity of 2R and 80A under different treatments.

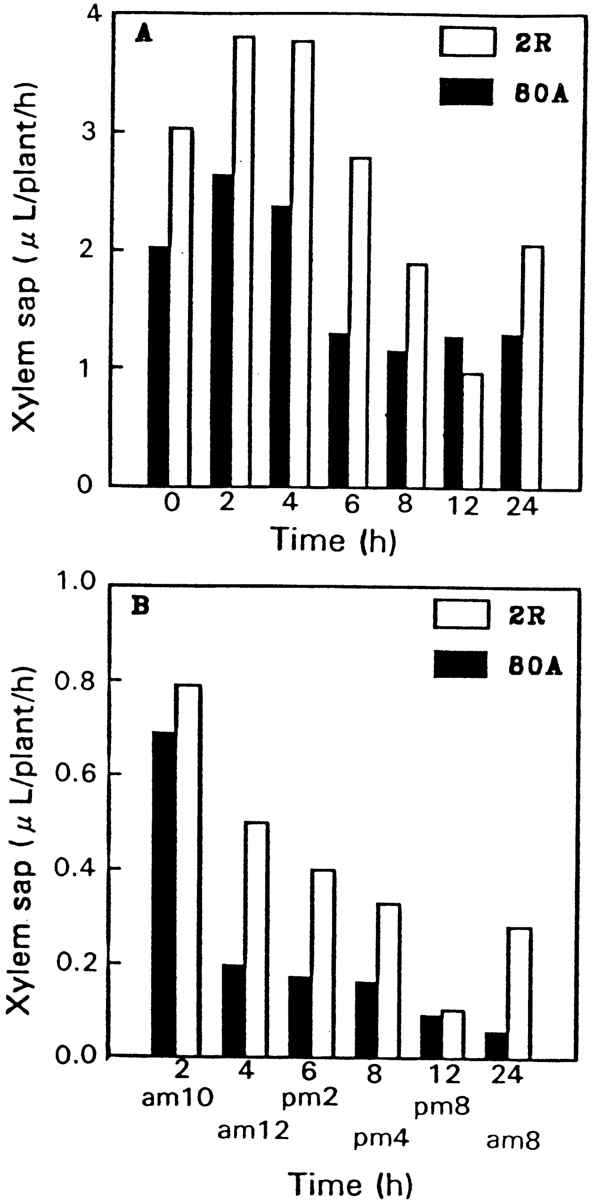

圖6. 不同品系之高粱幼苗常溫與低溫下木質液流出速率之變化

Figure 6. Changes of the rate of xylem exudation of 2R and 80A sorghum seedlings. A: growng in a 30/25℃ growth chamber. B: 5/5℃ low temperature treatments.

二、內生 ABA 含量之變化

許多報告也指出，植物內生 ABA 含量之變化與其低溫耐性有明顯相關，因此本試驗也擬瞭解 2R 與 80A 二高粱品系在低溫下的不同反應與內生 ABA 含量有無相關，由試驗結果顯示 2R 幼苗地上部在低溫處理24小時 ABA 內生含量開始增加（圖7），由常溫下的 0.9 nmol/g DW 提高到 2.58 nmol/g DW，24 小時後 ABA 含量急速累積，至96小時累積量為對照組的 12 倍。而 80A 幼苗地上部也同樣在低溫處理 24小時後才大量累積 ABA，ABA 含量由處理前的 0.73 nmol/g DW 提高至 96 小時的 11.11nmol/g DW。由測定結果可知耐冷品系 2R 幼苗及不耐冷品系 80A 幼苗，在低溫下地上部內生 ABA 含量二品系間並無顯著之差異。

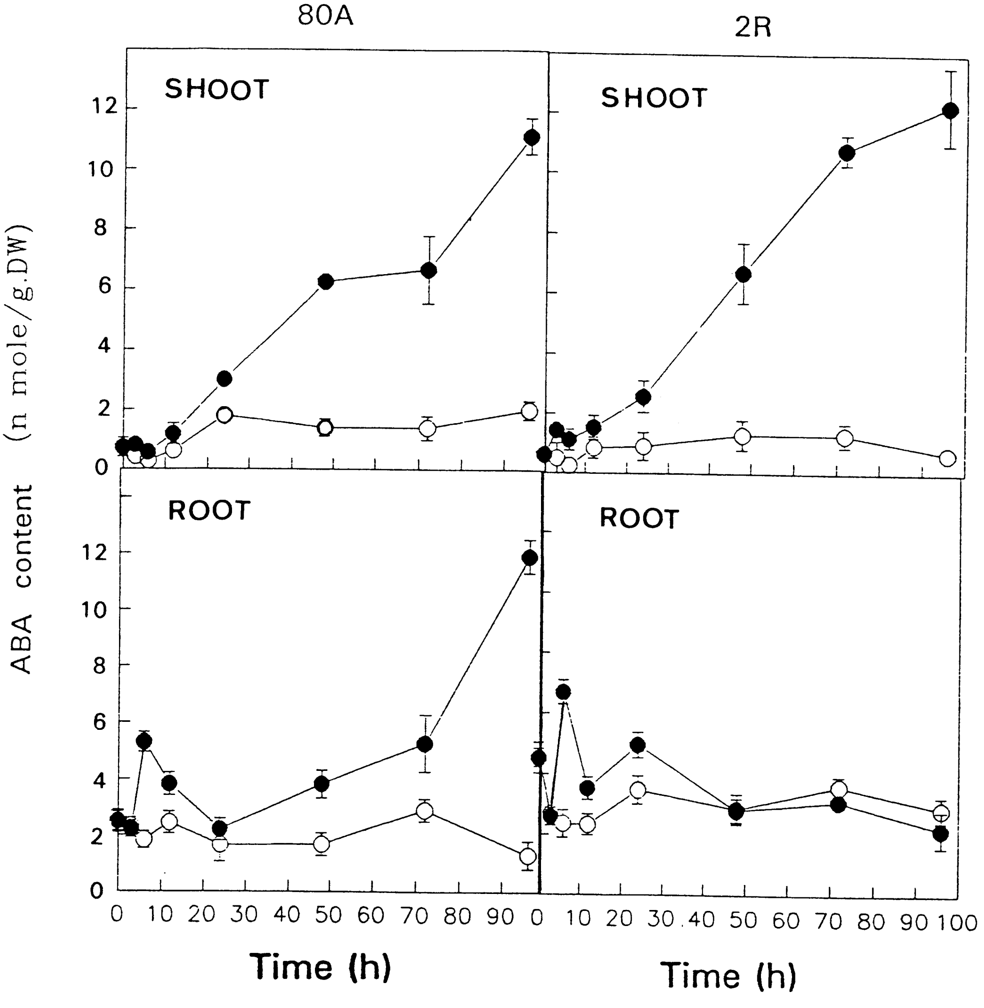

圖 7. 不同處理下高粱幼苗地上部與根部內生 ABA 含量之變化

Figure 7. Levels of endogenous cis-(＋)-ABA in shoots and roots of chilling sorghum seedlings Bars indicate standard error of means.

○ 30/25 ℃ ● 5/5 ℃

2R 與 80A 二品系幼苗根部ABA內生量在低溫處理 6 時會有上升現象，爾後則下降至和對照組相似含量。但 80A 品系之根部在 48 小時有上升趨勢，其含量由1.68 nmol /g D W 提高至 3.82 nmol/g DW，96 小時後則遽升至 11.9 nmol/g DW，而 2R幼苗根部處理48 小時後，即維持與對照組相似含量。80A 幼苗低溫處理後期根部內生ABA 的累積可能是根部受害所致，但眞正原因需進一步探討。

三、外加 ABA 對高粱幼苗耐冷性之影響

外加 ABA 處理可以增加植物低溫耐性，在許多作物均已被探討與研究，而在高粱卻鮮有報告。因此本試驗擬探討外加 ABA 是否也可增加 80A 幼苗對低溫的耐性。試驗之初，首先需決定何種 ABA 的處理濃度較爲適當，因此將三葉齡之高粱幼苗以不同濃度 (10^{-3} M、10^{-4}M、10^{-5}M) 的 ABA 前處理 24 小時，再移入低溫，經 2、4 天後取樣，測定葉片電解質滲漏量。由結果 (圖 8) 可知，不經 ABA 處理或以 10^{-5} M ABA 前處理，葉片電解質滲漏量均高於以10^{-3}M 或 10^{-4} M ABA 處理者，幼苗回溫後的存活率也較低。而以 10^{-3}M 或 10^{-4} M ABA 前處理的高粱幼苗確實可增加其對低溫的耐性，但因 10^{-3} M ABA 前處理的高粱幼苗，生長明顯受到抑制，而 10^{-4} M ABA 處理則否，因此本試驗乃以 10^{-4} M ABA 作爲後續 ABA 試驗的處理濃度。

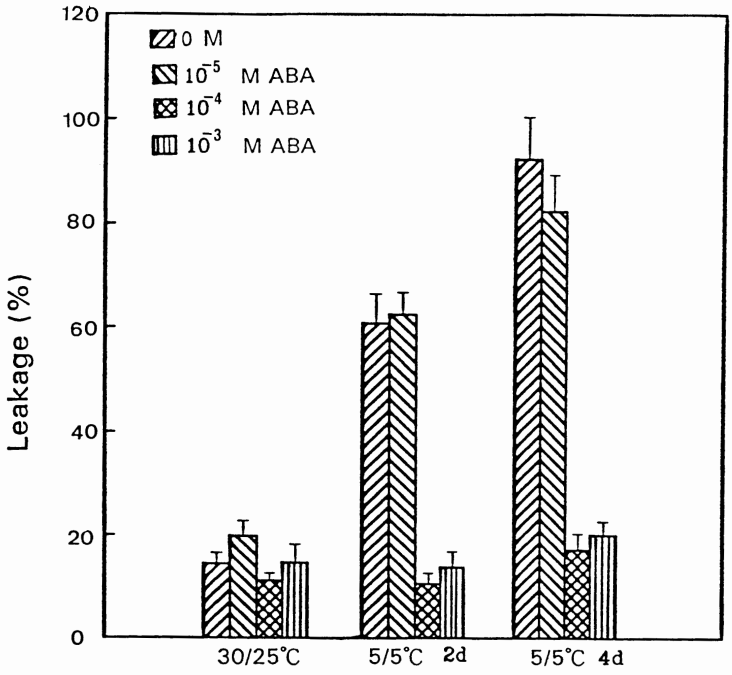

圖 8. 不同 ABA 處理濃度對 80A 幼苗低溫下葉片電解質滲漏量之影響

Figure 8. Changes of electrolyte leakage in leaves of sorghum seedlings. in different ABA concentration pretreatment for 24 h then intact seedlings chilled at 5/5℃ for 2 and 4 days. Bars indicate standard error of means.

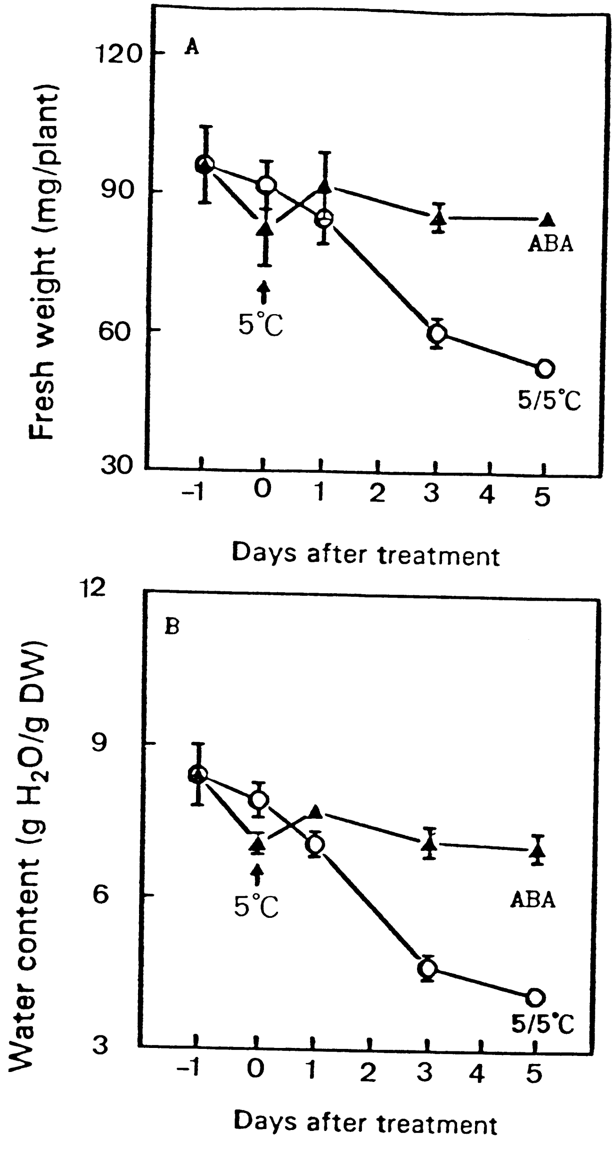

圖 9. 10^{-4} M ABA 處理對 80A 幼苗地上部鮮重與水分含量之影響

Figure 9. Changes of leaf fresh weight (A) and water content (B) of 80A seedlings after 10^{-4} M ABA Pretreatment then seedlings treated at 5/5°C for different days.
Bars indicate standard error of means.

將三葉齡之 80A 幼苗以 10-4 M ABA 處理 24 小時後，再移入 5/5℃ 低溫處理，發現可明顯增加其對低溫之耐性。由圖 9 結果顯示，ABA 處理可維持 80A 幼苗在低溫下的水分含量(圖 9B) 與鮮重 (圖 9A)，外觀上亦無枯萎或脫水情形，而未經 ABA 前處理直接移入低溫的對照組，葉片水分含量與鮮重隨著低溫處理時間逐漸下降，葉片明顯脫水萎凋，ABA 前處理的幼苗，經低溫處理 5 天後，水分含量與鮮重僅減少約15% ，而未經 ABA 前處理的幼苗鮮重與水分含量減少 50 % 以上。由 ABA 處理後葉片蒸散速率的變化 (圖 10) 發現，ABA處理可使氣孔快速關閉降低蒸散速率，ABA 處理 2 小時蒸散速率已降低約35% ，事實上 ABA 處理 15 分鐘氣孔導度即明顯降低 (結果未列出)，當移入低溫時，由於氣孔已關閉，因此低溫下的蒸散作用大大減少，約只有對照組的50% ，並隨著低溫處理的時間一直維持較低的蒸散速率，此可能是減少葉片脫水的重要因子。ABA 除了可使地上部蒸散速率減少外，也會影響根部的表現，由圖 11 的結果得知，ABA 處理可維持低溫下 80A 幼苗根部的生長，經 ABA 處理的幼苗根部鮮重雖然較常溫生長下的幼苗爲低，卻明顯高於未經 ABA 前處理而移入低溫生長的對照組，未經 ABA 處理的幼苗，在低溫下其根部的生長受到明顯的抑制或延遲，此外 ABA 處理也可顯著增加根部的活力(圖 12)，ABA 前處理 3 小時，根部活力已提高一倍，處理 6 至 12 小時，根部活力達最高 (圖 12A)，經 ABA 前處理 24 小時後移入低溫處理其根部活力明顯較對照組 (5/5℃) 爲高，而與常溫生長下的對照組差異不大 (圖 12B)。由圖 13 的結果發現，ABA 處理也可增加根部的吸水能力，ABA 前處理3 至 6 小時，木質部泌出液較對照組增加 80% (圖 13A)，進入低溫處理後，不論是否有ABA 前處理，木質部泌出液均顯著降低，但 ABA 處理者，木質部泌出液仍較對照組高出甚多 (圖 13B)。5/5℃ 低溫處理 24 小時後，對照組木質部泌出液極少(低於 0.05 μ L/plant) ，而 ABA 處理者尚可維持 0.5 μ L/plant 左右。由此結果推知 ABA 處理一方面影響地上部的表現，促使氣孔快速關閉，減少水分蒸散，另一方面也影響根部表現，增加根部活力並維持根部生長，藉由地上部與地下部共同調節而增加 80A 幼苗對低溫的耐性。

討　　論

起源熱帶與亞熱帶的作物較溫帶作物對低溫敏感，由於遺傳背景不同或長時間不同環境馴化的結果，可能使同一作物不同品系對低溫具有不同的敏感度 (Bramlage, 1982)。本研究曾就不同來源之 40 個高粱品系進行低溫耐性之篩選，並以滲漏量做爲低溫傷害的相關指標(Sulc et al., 1991)。結果發現在參試的品系中，低溫處理二天後平均的滲漏量介於 70 至 80% 之間，但其中 2R 的滲漏量最低只有 56% ，而 80A 可達 95% (高等，1994a)，因此後續的試驗乃採用此二高粱品系爲材料進行深入探討。

由試驗結果可知，80A 幼苗在低溫下葉片枯萎、脫水 (圖 1)，鮮重下降 (圖 2)，電解質滲漏量增加 (圖 3)，而 2R 品系則否，電解質滲漏量的增加被認爲是細胞膜半透性遭到破壞所致，Palta and Li (1980) 認爲細胞膜受低溫的傷害主要是蛋白質的性質改變所致。而細胞膜上脂肪的分解或成分的改變亦被認爲是低溫下細胞膜受害的原因之一(Bulder et al., 1989 ; Parkin and Kuo, 1989) 。由於 2R 的滲漏量顯著較 80A 爲低，推測 2R 在低溫下能夠維持膜的完整性而較耐低溫。

由於葉片脫水與氣孔關閉具有極大相關，

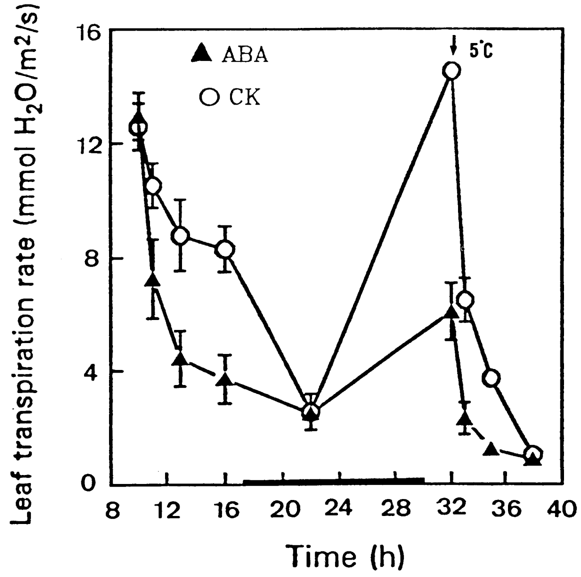

圖 10. 低溫與 ABA 處理對 80A 幼苗葉片蒸散速率之影響

Figure 10. Changes of leaf transpiration rate of 80A seedlings under 5/5℃ and ABA treatment.
Bars refer standard error of means.
Arrow indicates the start of treatment.
Black segment indicates the dark period.

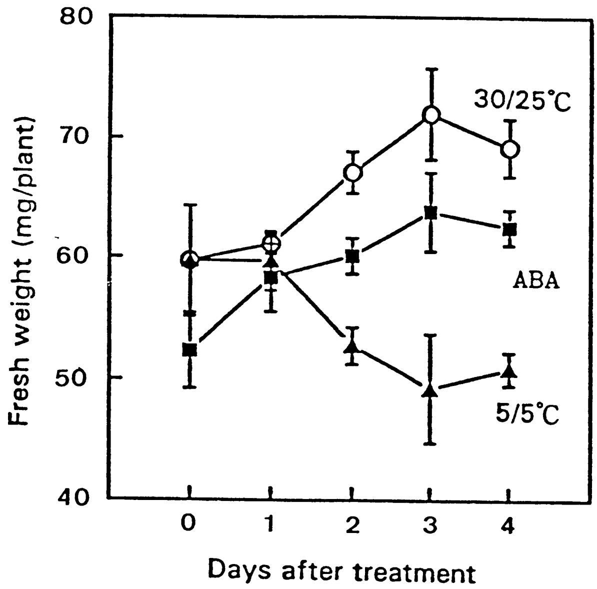

圖 11. 不同處理對 80A 幼苗根部鮮重之影響

Figure 11. Changes of root fresh weight of 80A seedlings under different treatment.
Bars indicates standard error of means.

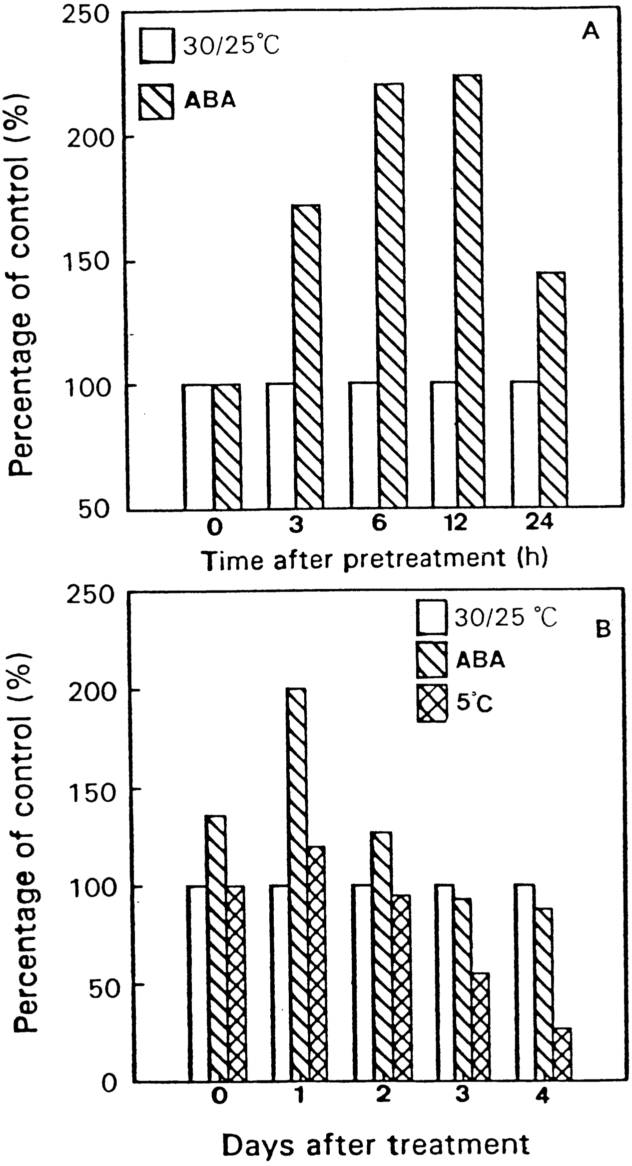

圖 12. 80A 幼苗 ABA 前處理 (A) 與移入低溫處理 (B) 根部 TTC 還原酵素之變化

Figure 12. Changes of root TTC reductase activity of sorghum seedlings under 10^{-4} M ABA pretreatment for 24 h (A) and intact seedlings treated at 5/5 ℃ for different days (B).

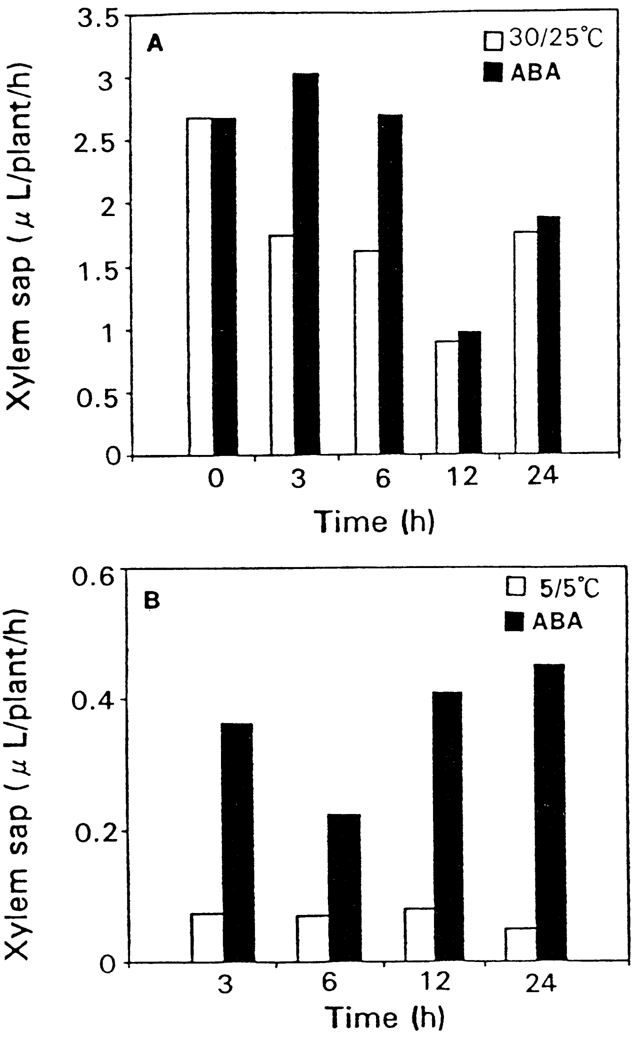

圖 13. 高粱幼苗根部常溫 (A) 與低溫下 (B) 木質液流出速率之變化

Figure 13. Changes of the rate of xylem exudation of sorghum seedlings (80A) under 10^{-4} M ABA pretreatment for 24 h (A) and intact seedlings treated at 5/5 ℃ for different hours.

因此也測定 2R 與 80A 幼苗低溫下氣孔導度的變化 (圖 4)，結果發現 2R 幼苗低溫下氣孔可以快速關閉而 80A 則否，此可能是造成 80A 葉片脫水的主要原因之一。Eamus and Wilson (1983) 以耐低溫的豌豆與不耐低溫的菜豆爲材料，探討低溫下二者生理反應之差異，結果發現菜豆在低溫下氣孔無法快速關閉造成葉片萎凋、膨壓下降，是致死的主要原因；相反的，豌豆在低溫下具有高的膨壓潛勢，且水分潛勢與滲透潛勢也與對照組相

似。Vigh et al. (1981) 亦發現耐低溫的玉米 (KSC360) 可在低溫下快速關閉氣孔並增加葉片蠟質的形成速率，但不耐低溫的玉米 (Lyc) 則否，由此可知，低溫下氣孔是否快速關閉是影響植株低溫下葉片枯萎脫水的重要原因。

葉片萎凋除了受氣孔的控制外，與根部活力及吸水能力也有明顯相關，Eamus and Wilson (1983) 認爲菜豆的低溫傷害除了氣孔無法快速關閉外，根部吸水也受到限制，Pardossi et al. (1992) 同樣也發現菜豆在低溫下葉片蒸散速率明顯快於根部吸水速度，因此造成葉片枯萎。Markhart et al. (1979) 將不耐低溫的大豆根部低溫處理時，根部吸水速率的 Arrhenius plot 斷折點由 14.7℃ 降爲 8℃，但耐低溫的油菜卻沒有改變斷折點，顯示不耐低溫的大豆在低溫下根部吸水能力受到影響，但油菜影響不大。BassiriRad et al. (1991) 發現低溫影響高粱的根部吸水速率，主要乃因爲水分傳導減少之故，但大麥卻是因爲 ion flux 受到抑制，可見不同作物根部對溫度的反應不盡相同。由本試驗的結果 (圖 5 與圖 6) 可看出 2R 品系在低溫下較 80 A 具有高的根部活力與吸水能力，因此可以提供地上部較多的水分，加上氣孔快速關閉，故在低溫下無脫水萎凋癥狀，而 80A 在低溫下氣孔無法快速關閉加上根部吸水能力下降，無法充分供給地上部水分，可能是導致80A 在低溫下脫水死亡的二個重要原因。

許多報告指出，低溫下內生 ABA 含量的提高與低溫耐性有明顯相關，Lee et al. (1993) 探討不同耐冷性的水稻品種內生 ABA 含量發現耐冷品種的水稻 (臺農67號)，在低溫下不論地上部或地下部均可快速合成 ABA，而不耐冷品種則否。Wightman (1979) 曾以耐冷小麥品系 Kharkov 與不耐冷小麥品系 Capelle 爲材料進行低溫處理，結果顯示Kharkov 較 Capelle 有較高的內生 ABA 含量，但 Lalk and Dorffling (1985) 以另外兩個不同耐冷性的冬小麥品系爲材料，卻發現內生 ABA 含量在二品系並無差異，此種不同的結果可能是因爲兩者所選用的品系不同及所取材的差異所致。本試驗測定高粱幼苗低溫下內生 ABA 的含量結果發現，不論耐冷品系 2R 或不耐冷品系 80A 地上部與根部 ABA 含量在低溫處理後均增加，品種間含量並無差異。此結果與 Lalk and Dorffling (1985) 的冬小麥試驗所得的結果相似，但與水稻 (Lee et al., 1993)、馬鈴薯 (Daie and Campbell, 1981) 卻截然不同，除了物種差異外，品種對 ABA 敏感度不同可能也是一個重要因子 (Koornneef et al., 1989)。此外 Tardieu et al. (1993) 認爲測定全株的 ABA 含量有時無法看出品種的差異，因爲 ABA 控制氣孔的反應是保衛細胞與葉肉細胞內 ABA 的重新分佈，而且部分來自根部合成的 ABA (特別是缺水時) 是經由木質部運送，故檢測 xylem sap 中 ABA 濃度比全株 ABA 含量 (bulk ABA) 可能更能反應 ABA 與植株逆境之關係 (Zhang et al., 1987)。

外加 ABA 處理可以增加對低溫的抵抗性，已在許多作物被證實，例如常溫下苜蓿 (Mohapatra et al., 1988)、阿拉伯芥 (Heino et al., 1990)、馬鈴薯 (Tseng and Li, 1991) 等以 ABA 處理即可誘導低溫耐性，而不需低溫處理即具有冷馴化能力。而 Chen and Gusta (1983) 也發現在小麥、黑麥與白露草的懸浮細胞，ABA 所誘導的凍溫耐性較低溫耐性爲強。Lee et al. (1993) 也發現 ABA 前處理 24 小時可顯著提高不耐冷水稻品種對低溫的耐性。Heino et al. (1990) 發現阿拉伯芥的 ABA 突變種對低溫沒有抗性，但外加 ABA 處理則可恢復其低溫抗性，此乃直接證明 ABA 與低溫抗性之關係。本試驗中爲得知何種 ABA 濃度對高粱幼苗最爲有利並不會造成傷

害，故試驗之初乃選用不同濃度的 ABA 處理並以滲漏量爲指標探討何種 ABA 處理濃度可以有效減少高粱幼苗低溫傷害，試驗結果中(圖 8)，顯然 10^{-4} M ABA 與 10^{-3} M ABA 均可達到增加高粱幼苗低溫抗性的效果，但 10^{-3} M ABA 對高粱幼苗所造成的傷害大於 10^{-4} M ABA 處理，故在後續的試驗中均以 10^{-4} M ABA 爲前處理濃度，此處理濃度較水稻 (10^{-5} M) (Chu and Lee, 1992)、白露草 (7.5×10^{-5} M) (Tanino et al., 1990)、油菜 (5×10^{-5} M) (Orr et al., 1990)、小麥 (7.5×10^{-5} M) (Chen and Gusta, 1983) 爲高但與玉米 (10^{-4} M) (Xin and Li, 1993a) 相同。

本試驗中不耐冷的高粱品系 80A 幼苗低溫處理後，葉片鮮重下降、水分含量降低，葉片明顯枯萎脫水，但經 10^{-4} M ABA 前處理 24 小時後再移入低溫處理，可明顯減少水分喪失並維持鮮重，降低滲漏量，而增加低溫的抗性 (圖 9)，ABA 誘導低溫耐性的機制並不清楚，然而一般認爲 ABA 與維持細胞內水分的平衡有密切關係，而低溫下氣孔無法快速關閉，常是導致植株脫水的重要原因之一。Eamus and Wilson (1983)及Pardossi et al. (1992) 均發現菜豆於低溫下氣孔無法快速關閉是造成菜豆幼苗脫水致死的重要因素。Rikin et al. (1976) 也發現胡瓜幼苗低溫下，地上部生長受阻，鮮重下降。Lee (1993) 以不同耐冷性水稻品種爲材料，發現不耐低溫的水稻品種 (臺中在來1號) 於低溫處理下氣孔無法快速關閉，造成植株捲曲脫水。本試驗中 80A 品系外加 ABA 處理後卻可顯著降低蒸散速率 (圖 10)，尤其在低溫下 ABA 前處理者氣孔已關閉，蒸散速率也明顯降低，故仍可維持 80A 植株鮮重與水分含量。Eamus and Wilson (1983) 發現 ABA 必須於常溫下進行前處理才可促使氣孔關閉，增加菜豆對低溫抗性，若於低溫下再處理則無法達到效果。

低溫下另一個影響植株脫水的因子是根部吸水能力的降低，由於低溫下細胞膜的構造發生改變，使其對水分的通透性降低，水分子間的粘度增加，影響根部吸水能力。在本試驗中未經 ABA 處理的 80A 幼苗，根部生長明顯受到抑制或延遲 (圖 11)，活力也下降 (圖 12)，因此可能影響了根部吸水能力，加上氣孔無法快速關閉，故造成 80A 幼苗葉片嚴重脫水。而 ABA 處理除了可促使 80A 幼苗葉片氣孔快速關閉外，也影響根部的反應，經 ABA 處理的植株，低溫下仍可維持根部生長，並提高根部的活力與吸水能力 (圖 13)，Markhart (1984) 發現 50 μ M ABA 處理可明顯減少低溫對根部水分傳導的傷害，增加根部吸水能力。Glinka (1980) 也發現 ABA 處理可促使菜豆及向日葵根部組織的吸水能力。BassiriRad and Radin (1992) 發現 ABA 處理可增加高粱及大麥切離根的木質部泌出速率，但二者的促進方式不同，對高粱而言 ABA 乃增加高粱根部的水分傳導，而使水分傳導速率增加，而大麥主要是增加 ion flux rate。由以上的結果可知，ABA 促進 80A 幼苗低溫耐性的增加一方面促使氣孔快速關閉減少低溫下的蒸散作用外，另一方面 ABA 也影響根部的生長與活力，促進植株吸水能力，以避免供水不足，故 ABA 與維持植株水分的平衡有密切關係。

ABA 除了改變 80A 幼苗低溫下的生理反應外，在試驗中也發現 ABA 可以明顯的改變根部的形態，包括根尖膨大、密生根毛。若將此根尖固定進一步以石蠟切片觀察，則發現有支根與 early metaxylem 的分化，此形態之變化在對照組中並未發現。ABA 誘導根部形態的改變，眞正的功能並不清楚，但由本試驗中圖 13 之結果推測，ABA 處理可能與吸水能力的增加有關。此外，本

實驗室目前也正著手探討 ABA 的反應是否藉由 Ca^{2+} 的作用，初步的結果發現若以 Ca^{2+} 的 channel blocker 抑制 Ca^{2+} 的進出時，根部膨大現象有被抑制之情形，同時木質部泌出液的流出速率亦有減少之趨勢，此結果初步顯示ABA 作用似乎有 Ca^{2+} 的參與，而 ABA 所誘導的根部形態改變與吸水能力之增加似乎具有相關。(Monroy et al., 1993；Allan et al., 1994)

另外本實驗室也針對 ABA 或低溫對蛋白質合成與基因表現之影響進行研究，以 ^{35}S-methionine 進行 *in vivo* 或 *in vitro* 的標定後進行電泳分析，初步結果發現不論低溫或 ABA 處理，均可誘導某些特殊蛋白質的合成，其中以熱穩定蛋白質型式的變化更爲顯著，一般認爲低溫所誘導的熱穩定蛋白質爲一種低溫保護蛋白質 (Lin et al., 1990；Wolfraim and Dhindsa, 1993)，而在高粱是否也有類似的功能則需進一步的探討。因此，ABA 不僅影響高粱幼苗的生理反應，也影響形態與蛋白質的變化，顯示 ABA 的調節作用已涉及分子層次，而非單純的生理反應而已。

誌　　謝

本試驗承蒙行政院國家科學委員會與農業委員會補助經費，另臺大農藝系育種研究室、臺中及臺南改良場慨贈高粱種子，特此誌謝。

引用文獻

1. 高小玲、盧虎生、朱 鈞。1994a。不同耐冷品系高粱幼苗低溫下之生理反應。投稿中）。
2. 高小玲、盧虎生、朱 鈞。1994b。離層酸對高粱幼苗耐冷性之影響。(投稿中)
3. 姚銘輝、朱 鈞。1993。脯胺酸、離層酸、氣孔導度與高粱幼苗耐冷性。中華農藝 3: 91-100。
4. 姚銘輝、朱 鈞。1992。離層酸對高粱幼苗葉片氣孔導度及耐冷性之影響。中華農學會報 160:43-54.
5. Allan, A. C., M. D. Fricker, J. L. Ward, M. H. Beale, and A. J. Trewavas. 1994. Two transduction pathways mediate rapid effects of abscisic acid in *Commelina* guard cells. Plant Cell 6:1319-1328.
6. BassiriRad, H., J. W. Radin, and K. Matsuda. 1991. Temperature-dependent water and ion transport properties of barley and sorghum root. I. Relationship to leaf growth. Plant Physiol. 97:426-432.
7. BassiriRad, H. and J. W. Radin. 1992. Temperature-dependent water and ion transport properties of barley and sorghum root. II. Effect of abscisic acid. Plant Physiol. 99:34-37.
8. Bramlage, W.J. 1982. Chilling injury of crops of temperate origin. HortScience 17: 165-168.
9. Bulder, H. A. M., W. R. Leij, E. J. Speek, P. R. Hasselt, and P. J. C. Kuiper. 1989. Interaction of drought and low temperature stress on lipid and fatty acid composition of cucumber genotypes differing in growth response and suboptimal temperature. Physiol. Plant. 75:362-368.
10. Chen, T. H. H. and L. V. Gusta. 1983. Abscisic acid induced freezing resistance in cultured plant cells. Plant Physiol. 73:71-75.
11. Chu, C. and T. M. Lee. 1989. The relation-

ship between ethylene biosynthesis and chilling tolerance in seedling of rice (*Oryza sativa* L.). Bot. Bull. Academia Sinica. 30:263-273.

12.Chu, C. and T. M. Lee. 1992. Regulation of chilling tolerance in rice seedlings by plant hormones. Korean J. Crop Sci. 37:288-298.

13.Daie, J. and W. F. Campbell. 1981. Response of tomato plants to stressful temperature. Plant Physiol. 67:26-29.

14.Eamus, D. and J. M. Wilson. 1983. ABA levels and effect in chilled hardened *Phaseolus vulgaris*. J. Exp. Bot. 34:1000-1006.

15.Eamus, D. and J. M. Wilson. 1984. A model for the interaction of low temperature, ABA, IAA, and CO_2 in the control of stomatal behaviour. J. Exp. Bot. 35:91-98.

16.Flanagan, A. M. J. and J. Singh. 1987. Alteration of gene expression during the induction of freezing tolerance in *Brassica napus* suspension cultures. Plant Ph ysiol. 85:699-705.

17.Gau, S. L., H. S. Lur, and C. Chu. 1992. Amelioration of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seedling to chilling stress by abscisic acid. The Proceedings of the Society for the Advance of Breeding Researches in Asia and Oceanian (SABRO). International Symposium on Im pact of Biological Research on Agricultural Productivity. Taichung, Taiwan, R.O. C. pp. 255-264.

18.Gilmour, S. J. and M. F. Thomashow. 1991. Cold acclimation and cold-regulated gene expression in ABA mutants of *Arabidopsis thaliana*. Plant Mol. Biol. 17:1233-1240 .

19.Glinka, Z. 1980. Abscisic acid promotes both volume flow and ion release to the xylem in sunflower. Plant Physiol. 73:309 -314.

20.Heino, P., G. Sandman, V. Lang, K. Nordin, and E. T. Palva. 1990. Abscisic acid deficiency prevents development of freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Theor. Appl. Genet. 79:801-806.

21.Houde, M., J. Danyluk, J. F. Laliberte, E. Rassart, R. S. Dhindsa, and F. Sarchan. 1992. Cloning, characterization and expression of a cDNA encoding a 50 kilodalton protein specifically induced by cold acclimation in wheat. Plant Physiol. 99:1381-1387.

22.Koornneef, M., C. J. Hanhart, H. W. M. Hilhost, and C. M. Karssen. 1989. In vivo inhibition of seed development and reserve protein accumulation in recombinants of abscisic acid biosynthesis and responseness mutants in *Arabidopsis thaliana.* Plant Physiol. 90:463-469.

23.Kushad, M. M. and G. Yelenosky. 1987. Evaluation of polyamine and proline levels during low temperature acclimation in *Citrus.* Plant Physiol. 84:692-695.

24.Lalk, I. and K. Dorffling. 1985. Harding, abscisic acid, proline and freezing resistance in two winter wheat varieties. Physiol. Plant. 63:287-292.

25.Lee, S. P. and T. H. H. Chen. 1993. Molecular cloning of abscisic aicd-responsive mRNAs expressed during the induction of freezing tolerance in bromegrass (*Bromus* inermis Leyss) suspension culture. Plant Physiol. 101:1089-1096.

26.Lee, T. M., H. S. Lur and C. Chu. 1993. Role of abscisic acid in chilling tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. I. Endogenous abscisic acid levels. Plant Cell Environ. 16:481-490.

27.Leopold, A. C. and L. D. Nooden. 1984. Hormonal regulatory system in plants. In: *Hormonal Regulation of Development* (T. K. Scott, ed.), Springer-Verlag Academic Press, New York, pp.4-17.

28.Lin, C., W. W. Guo, E. Everson, and M. F. Thomashow. 1990. Cold acclimation in Arabidopsis and wheat. Plant Physiol. 94: 1078-1083.

29.Luo, M., J. H. Liu, S. Mohapatra, R. D. Hill, and S. S. Mohapatra. 1992. Characterization of a gene family encoding abscisic acid- and environmental stress-inducible proteins of alfalfa. J. Biol. Chem. 267:1536 7-15374.

30.Markhart, A. H. 1984. Amelioration of chilling-induced water stress by abscisic acid-induced changes in root hydraulic conductance. Plant Physiol. 78:81-83.

31.Markhart, A. H., E. L. Fiscus, A. W. Naylor, and P. J. Kramer. 1979. Effect of temperature on water and in ion transport in soybean and *Broccoli* system. Plant Physiol. 64:83-87.

32.Mohapatra, S. S., R. J. Poole, and R. S. Dhindsa. 1988. Detection of two membrane polypeptides induced by abscisic acid and cold acclimation: possible role in freezing tolerance. Plant Cell Physiol. 29: 727-730.

33.Monroy, A. F., F. Sarhan, and R. S. Dhindsa. 1993. Cold-induced changes in freezing tolerance, protein phosphorlyation, and gene expression. Plant Physiol. 102:1227-1235.

34.Morris, L. L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. HortScience 17:161-162.

35.Orr, W., A. M. Johnson-Flanagan, W. A. Keller, and J. Singh. 1990. Induction of freezing tolerance in microspore-derived embryos of winter Brassica napus. Plant Cell Rep. 8:579-581.

36.Palta, J. P. and P. H. Li. 1980. Alternations in membrane transport properties by freezing injury in herbaceous plants: evidence against rupture theory. Physiol. Plant. 50; 169-175.

37.Pardossi, A., P. Vernieri, and F. Tognoni. 1992. Involvement of abscisic acid in regulating water status in *Phaseolus vulgaris* L. during chilling. Plant Physiol. 100:1243-1250.

38.Parkin, K. L. and S. J. Kuo. 1989. Chilling -induced lipid degradation in cucumber (*Cucumis sativa* L. cv hybrid C) fruit. Plant Physiol. 90:1049-1056.

39.Reaney, M. J. T. and L. V. Gusta. 1989. The effect of abscisic acid, kinetin and gibberellin on freezing tolerance in smoth bromegrass (*Bromus inermis*) cell suspension. Can. J. Bot. 67:3640-3646.

40.Rikin, A., D. Atsmon, and C. Gilter. 1979. Chilling injury in cotton (*Gossypium hirsutum* L.): prevention by abscisic acid. Plant Cell Physiol. 20:1537-1546.

41.Rikin, A., A. Blumrenfeld, and A. E. Richmond. 1976. Chilling resistance as affected by stressing environments and

abscisic acid. Bot. Gaz. 137:307-312.

42.Rikin, A., M. Waldman, A. E. Richmond, and A. Dovart. 1975. Hormonal regulation of morphogenesis and cold-resistance. J. Exp. Bot. 26:175-183.

43.Robertson, A. J., L. V. Gusta, M. J. T. Reaney, and M. Ishikawa. 1987. Protein synthesis in bromegrass (*Bromus inermis* Leyss) cultured cells during the induction of frost tolerance by abscisic acid or low temperature. Plant Physiol. 84:1331-1336.

44.Robertson, J. M., K. T. Hubick, E. C. Yeung, and D. M. Reid. 1990. Developmental response to drought and abscisic acid in sunflower root. I. Root growth, apical anatomy and osmotic adjustment. J. Ext. Bot. 41:325-337.

45.Smith, P. G. and J. E. Dale. 1988. The effects of root cooling and excision treatments on the growth of primary leaves of *Phaseolus vulgaris* L. New Phytol. 110: 293-300.

46.Steponkus, P. L. and O. F. Lanphear. 1967. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. Plant Physiol. 35:543-548.

47.Sulc, R. M., K. A. Albercht, and S. H. Duke. 1991. Leakage of intracellular substance as an indicator of freezing injury in alfalfa. Crop Sci. 31:430-435.

48.Tanino, K. K., T. H. H. Chen, L. H. Fuchigami, and C. J. Weiser. 1990. Me tabolic alteratons associated with abscisic acid induced frost hardiness in bromegrass suspension culture cells. Plant Cell Physiol. 31:505-511.

49.Tanino, K. K., T. H. H. Chen, L. H. Fuchigami, and C. J. Weiser. 1991. Abscisic acid-induced cellular alternation during the induction of freezing tolerance in bromegrass cells. J. Plant Physiol. 137: 619-624.

50.Tardieu, F., J. Zhang, and D. J. G. Growing. 1993. Stomatal control by both [ABA] in the xylem sap and leaf water status: a test of a model for droughted or ABA-fed field -grown maize. Plant Cell Environ. 16:413-420.

51.Thimann, K. V. 1960. Plant growth. In: *Fundamental Aspects of Normal and Malignant Growth* (W. W. Nowinski, ed.), Elsevier, Amsterdam, pp.748-822.

52.Thomashow, M. F. 1990. Molecular genetics of cold acclimation in higher plant. Adv. in Genet. 28:99-132.

53.Tseng, M. J. and P. H. Li. 1991. Changes in protein synthesis and translatable messenger RNA populations associated with ABA-induced cold hardiness in potato (*Solanum commersonii*). Physiol. Plant. 81:349-358.

54.Vigh, L., I. Horvath, T. Farkas, L. A. Mustardy, and W. F. Daniel. 1981. Stomatal behaviour and cuticular properties of maize leaves of different chilling-resistance during cold treatment. Physiol. Plant. 51:287-290.

55.Walker-Simmons, M. 1987. Embryonic ABA levels and sensitivity in developing wheat embryos of sprouting resistance and suspectible cultivar. Plant Physiol. 84:61-66.

56.Wightman, F. 1979. Modern chromatographic methods for identification and

quantification of plant growth regulators and their application to study of prechanges in hormonal substances in winter wheat during acclimation to cold stress conditions. In: *Plant Regulation* and *World Agriculture* (T. K. Scott, ed.), Plenum Press, New York, pp.327-377.

57.Wolfraim, L. A. and R. S. Dhindsa. 1993. Cloning and sequencing of the cDNA for cor17, a cold acclimation-specific gene of alfalfa. Plant Physiol. 103:667-668.

58.Xin, Z. and P. H. Li. 1993a. Alteration of gene expression associated with abscisic acid-induced chilling tolerance in maize suspensoin culture cells. Plant Physiol. 101: 277-284.

59.Xin, Z and P. H. Li. 1993b. Relationship between proline and abscisic acid in the induction of chilling tolerance in maize suspension-cultured cells. Plant Physiol. 103: 607-613.

60.Yoshida, S., D. A. Forno, J. M. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Laboratory Mannual for Physiological Studies of Rice. 3rd ed, The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Phillippines.

The Relationship Between ABA and Chilling Tolerance in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Seedlings

Sheau-Ling Gau[1], Ming-Hwi Yao[2], Huu-Sheng Lur[1] and Chun Chu[1]

[1] Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.
[2] Department of Agricultural Engineer, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

The objectives of this research were to study the physiological responses of sorghum seedlings to low temperature. The role of ABA on chilling tolerance was also investagated. Results showed that under chilling condition, water content and fresh weight of shoots of 80A decreased rapidly and the leaves dehydrated significantly after being exposed for 1 day. However, under the same condition little water lose in 2R leaves was observed. Electrical leakage in leaves of 80A increased rapidly with the time of cold treatment, whereas apparent less increasing were shown in 2R seedlings. The differences of leaf stomatal conductance and root hydraulic conductance between 2R and 80A were also examined. Leaf stomtal conductance of 2R reduced rapidly after transferring to 5/5℃ treatment, whereas 80A stayed at a high level similar with the control during the chilling period. In addition, 2R showed a significantly higher root TTC reductase activity and xylem exudation rate than did 80A under low temperature. When seedlings were subjected to 5℃, the level of endogenous abscisic acid in both shoot and root increased rapidly. However, no discernible difference in the level of chilling- induced abscisic acid was observed between 2R and 80A. Results also showed that pretreatment of ABA in solution could significantly prevent 80A seedling from chilling injury significantly. Two hours after 10^{-4} M ABA pretreatment, transpiration rate and stomatal conductance of the 3rd leaf of sorghum seedling were dramatically reduced. The lower level of leaf transpiration rate could prevent water loss and maintain fresh weight of 80A seedling during low temperature treatment. Exogenous application of ABA also increased root TTC reductase activity and the amount of xylem sap remarkably. The present results suggested that ABA may be involved in the amelioration process of sorghum seedlings to chilling injury through keeping water balance under cold condition.

Key words : Sorghum, Chilling tolerance, ABA, Leaf transpiration rate, Xylem sap, Root TTC activity.